



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 51 047 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 F 27/24**  
H 01 F 27/38  
H 01 F 36/00  
H 02 H 9/02

②1 Aktenzeichen: 198 51 047.0  
②2 Anmeldetag: 5. 11. 98  
④3 Offenlegungstag: 10. 6. 99

DE 198 51 047 A 1

⑥6 Innere Priorität:

197 51 069.8 18. 11. 97

⑦1 Anmelder:

Joo, Back, Seoul/Soul, KR; Joo, Yong-Seok,  
Seoul/Soul, KR; Joo, Min-Seok, Seoul/Soul, KR

⑦4 Vertreter:

H. Weickmann und Kollegen, 81679 München

⑦2 Erfinder:

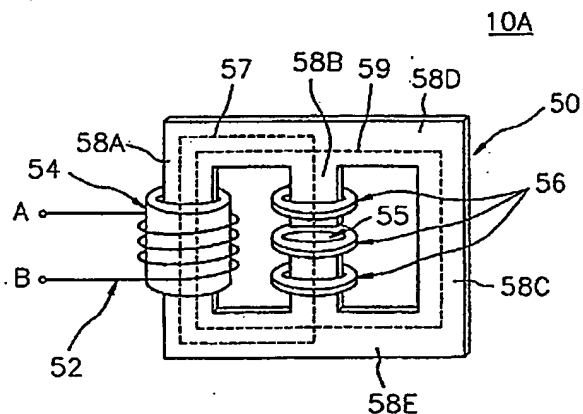
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Supraleitende Strombegrenzungsanordnung mit Dämpfungspulen

⑤7 Eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung (10A) schützt eine elektrische Schaltung vor Fehlströmen. Die Anordnung (10A) umfaßt einen magnetisch sättigbaren Kern (50) mit einem gesättigten und einem ungesättigten Zustand sowie eine Eingangsspule (52), um den Kern (50) elektrisch mit der elektrischen Schaltung zu koppeln, wobei die Eingangsspule (52) einen Strom zieht, so daß bedingt durch diesen Strom ein magnetischer Fluß in dem Kern (50) erzeugt wird. Der Kern (50) umfaßt einen Hauptweg (58A), der den erzeugten magnetischen Fluß insgesamt führt, sowie mindestens zwei magnetische Wege (58B, 58C), von denen ein erster (58C) einen ersten Teil des magnetischen Flusses führt und ein zweiter (58B) einen zweiten Teil des magnetischen Flusses führt und ein Dämpfungselement (56) aufweist, um den zweiten Teil des magnetischen Flusses mindestens teilweise auszulöschen und auf diese Weise zu verhindern, daß der Kern (50) in den gesättigten Zustand geht.



DE 198 51 047 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Fehlstrombegrenzer und insbesondere eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung zur Verbesserung seines Strombegrenzungsverhaltens durch Verwendung eines magnetischen Kerns mit einem Spalt und einem Dämpfelement.

Im allgemeinen werden bei den meisten elektrischen Schaltungen Schutzmaßnahmen gegen übermäßige Ströme getroffen, die durch eine vorübergehende Lastimpedanz oder einen Fehlstrom hervorgerufen werden können. Die herkömmlich verwendeten Schmelzsicherungen oder Schaltungsunterbrecher, die die Schaltung bei einem vorbestimmten Strompegel oder einem vorbestimmten Strom-Zeit-Produkt öffnen, wirken jedoch langsam und können auf schnelle Vorgänge nicht antworten. Zudem sind Schaltungsunterbrecher nur für relativ niedrige Ströme erhältlich.

Um die vorstehenden Nachteile zu beseitigen, wurden verschiedene Strombegrenzer vorgeschlagen, die zusammen mit Sicherungen oder Schaltungsunterbrechern zu benutzen sind. Einer von ihnen ist eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung, die sich den Magnetflüssauslöschungseffekt eines Supraleiters zunutze macht.

Bezug nehmend auf Fig. 1 ist dort der Magnetflüssauslöschungseffekt eines Supraleiters 100 veranschaulicht. Wenn der Supraleiter 100 einem Magnetfeld  $H$  ausgesetzt ist, das in dem Supraleiter 100 einen Strom  $I$  unterhalb eines kritischen Werts induziert, befindet sich der Supraleiter 100 in einem supraleitenden Zustand. Aufgrund des Stroms  $I$  wird dann ein umgekehrtes Magnetfeld  $-H$  erzeugt, und zwar in einer Richtung zur Auslöschung des auf den Supraleiter 100 einwirkenden Magnetfelds  $H$ . Im Ergebnis wird das den Supraleiter 100 durchfließende Magnetfeld  $H$  durch das umgekehrte Magnetfeld  $-H$  ausgelöscht.

Wenn dagegen ein Magnetfeld  $H$  vorhanden ist, das in dem Supraleiter 100 einen den kritischen Wert übersteigenden Strom induziert, geht der Supraleiter 100 in einen resistiven Zustand, wobei der Übergang vom supraleitenden Zustand in den resistiven Zustand das umgekehrte Magnetfeld  $-H$  extrem schwächt, was zu einem Verlust der Magnetflüssauslöschungseigenschaft des Supraleiters 100 führt. Als Folge wird das den Supraleiter 100 durchfließende Magnetfeld  $H$  nicht durch ein umgekehrtes Magnetfeld  $-H$  ausgelöscht.

Bezug nehmend nunmehr auf Fig. 2 ist dort eine beispielhafte elektrische Einrichtung 5 mit einer herkömmlichen supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10 gezeigt, welche den Magnetflüssauslöschungseffekt eines Supraleiters nutzt. Die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10 umfaßt eine Primärwicklung 110, ein supraleitendes Element 120 sowie einen sättigbaren Magneten 130, wobei die Primärwicklung 110 die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10 über Anschlüsse A und B elektrisch an einen externen Schaltkreis 20 ankoppelt, der beispielsweise eine Spannungsquelle  $V_s$  und einen Lastwiderstand  $R_L$  umfaßt. In der Figur ist die Primärwicklung 110 in Form einer leitenden Spule und das supraleitende Element 120 in Form eines supraleitenden Rings dargestellt.

In der elektrischen Einrichtung 5 fließt über den Lastwiderstand  $R_L$  und die Primärwicklung 110 ein durch die Spannungsquelle  $V_s$  und die Gesamtimpedanz der elektrischen Einrichtung 5 bestimmter Schaltungsstrom. Die Gesamtimpedanz wird hauptsächlich durch den Lastwiderstand  $R_L$  und eine hinzu kommende zusätzliche Impedanz bestimmt, die durch die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10 bedingt ist.

Es wird nun die Wirkungsweise der in Fig. 2 dargestellten elektrischen Einrichtung 5 anhand der Fig. 3 erläutert.

Unter normalen Verhältnissen, wenn in der Primärwicklung 110 ein Strom unterhalb eines Übergangspunkts P in Fig. 3 fließt, bleibt das supraleitende Element 120 im supraleitenden Zustand. Wie zuvor anhand der Fig. 1 erläutert, löscht deswegen der durch das supraleitende Element 120 erzeugte umgekehrte oder entgegengesetzte magnetische Fluß den durch die Primärwicklung 120 hervorgerufenen magnetischen Fluß aus, was die Induktivität der Primärwicklung 110 zu annähernd null macht. Da die Impedanz der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10 lediglich durch deren Streuinduktivität und den ohmschen Widerstand der Primärwicklung 110 bestimmt wird, ist folglich die durch die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10 bedingte zusätzliche Impedanz sehr niedrig, weswegen der normale Strom durch die elektrische Einrichtung 5 fließen kann, ohne daß eine wesentliche Widerstandsänderung bedingt durch die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10 auftritt.

Unter Fehlerbedingungen dagegen, also wenn ein beispielsweise durch eine vorübergehende Lastimpedanzänderung oder einen Fehlstrom verursachter Fehlstrom oberhalb des Übergangspunkts P in Fig. 3 in der Primärwicklung 110 fließt, geht das supraleitende Element 120 in den resistiven Zustand, da der Fehlstrom in der Primärwicklung 110 einen magnetischen Fluß erzeugt, der in dem supraleitenden Element 120 einen Strom oberhalb des kritischen Werts induziert. Daher kann der von der Primärwicklung 110 erzeugte magnetische Fluß nicht durch den von dem supraleitenden Element 120 erzeugten umgekehrten magnetischen Fluß ausgelöscht werden, wie dies vorstehend in Verbindung mit Fig. 1 erläutert wurde. Sobald demnach in dem supraleitenden Element 120 ein Übergang vom supraleitenden Zustand in den resistiven Zustand auftritt, vergrößert der resultierende magnetische Nettofluß plötzlich die an den Anschlüssen A und B gesehene Induktivität; gleiches gilt für die Impedanz der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10. Als Folge nimmt die Gesamtimpedanz der elektrischen Einrichtung 5 abrupt zu, so daß der Pegel des durch die elektrische Einrichtung 5 fließenden Fehlstroms begrenzt werden kann.

Wenn allerdings, wie in Fig. 3 gezeigt, der Fehlstrom nicht durch eine von der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10 bewirkte Impedanzänderung begrenzt wird und sich einem Sättigungspunkt Q nähert, wo der magnetische Kern 130 in Sättigung geht, fällt die Induktivität der Primärwicklung 110 auf einen deutlich kleineren Wert, was auch für die zusätzliche Impedanz der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10 gilt. Wenn der magnetische Kern 130 schließlich gesättigt ist, kann folglich ein enorm großer Fehlstrom durch den externen Schaltkreis fließen und diesen zerstören.

Solche Sättigungsprobleme können dadurch überwunden werden, daß die supraleitende Strombegrenzungsanordnung so ausgelegt wird, daß sie einen hohen Sättigungsstrom trägt. Dies kann jedoch zu einer erheblichen Zunahme der Größe, des Gewichts und der Kosten aller Elemente der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung, insbesondere des magnetischen Kerns, führen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Sättigungsprobleme des magnetischen Kerns ohne Vergrößerung von dessen Querschnittsfläche zu lösen.

Erfindungsgemäß ist eine Anordnung zur Begrenzung eines Stroms in einer elektrischen Schaltung vorgesehen, umfassend:

- einen magnetisch sättigbaren Kern mit einem gesättigten und einem ungesättigten Zustand und
- eine Eingangsspule zum elektrischen Ankoppeln des

Kern an die elektrische Schaltung, wobei die Eingangsspule einen Strom führt, so daß ein magnetischer Fluß in dem Kern erzeugt wird,

wobei der Kern einen Hauptweg zum Führen des erzeugten magnetischen Flusses und mindestens zwei magnetische Wege umfaßt, von denen ein erster einen ersten Teil des magnetischen Flusses führt und ein zweiter einen zweiten Teil des magnetischen Flusses führt und ein Dämpfelement zur wenigstens teilweisen Auslöschung des zweiten Teils des magnetischen Flusses aufweist, um zu verhindern, daß der Kern in den gesättigten Zustand geht.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es stellen dar:

Fig. 1 den Magnetflussauslöschungseffekt eines Supraleiters,

Fig. 2 eine elektrische Einrichtung mit einer herkömmlichen supraleitenden Strombegrenzungsanordnung,

Fig. 3 die Magnetisierungskurve eines magnetischen Kerns in einer supraleitenden Strombegrenzungsanordnung,

Fig. 4 eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung nach einem ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

Fig. 5 eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung nach einem zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

Fig. 6 eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung nach einem dritten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel,

Fig. 7 einen erfindungsgemäßen Induktor und

Fig. 8 einen erfindungsgemäßen Transformator.

In den Fig. 4 bis 6 sind supraleitende Strombegrenzungsanordnungen nach bevorzugten Ausführungsbeispielen der Erfindung dargestellt. In Fig. 4 erkennt man eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10A nach einem ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel. Die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10A umfaßt einen magnetischen Kern 50 mit einer Mehrzahl von beispielsweise drei magnetischen Zweigabschnitten (oder Schenkeln), etwa ersten bis dritten magnetischen Schenkeln 58A bis 58C, die sich zwischen zwei länglichen Abschnitten (oder Jochen), etwa einem oberen Joch 58D und einem unteren Joch 58E, erstrecken. Der magnetische Kern 50 kann aus jedem beliebigen magnetisch sättigbaren Material gefertigt sein, das einen gesättigten und einen ungesättigten Zustand besitzt. Der zweite magnetische Schenkel 58B weist einen Spalt 55, zum Beispiel einen Luftspalt, auf, der von einem Material besetzt ist, dessen Permeanz (magnetischer Leitwert) kleiner als die des magnetischen Kerns 50 ist. Mit anderen Worten ist der Spalt mit einem Material ausgefüllt, dessen Reluktanz größer als die des magnetischen Kerns 50 ist. Die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10A ist zudem an einen externen Schaltkreis (nicht gezeigt) angekoppelt, und zwar mit Hilfe einer Eingangsspule 52, also einer Primärwicklung, die über zwei Anschlüsse A und B mit dem externen Schaltkreis verbunden ist, wie dies bei der in Fig. 2 gezeigten elektrischen Einrichtung der Fall ist. Die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10A umfaßt außerdem wie in Fig. 2 ein supraleitendes Element 54 und ferner ein den zweiten magnetischen Schenkel 58B mit dem Spalt 55 umschließendes Dämpfelement 56. Die Primärwicklung 52 liegt in Form einer Spule mit einer vorbestimmten Zahl von Windungen vor, die um einen vorzugsweise spaltlosen magnetischen Schenkel, etwa den ersten magnetischen Schenkel 58A, oder das supraleitende Element 54 gewickelt ist; sie ist aus einem leitenden Material gefertigt, das entweder ein supraleitendes Material oder ein nicht supraleitendes, also normalleitendes Material sein kann. Das supraleitende Element 54 ist von einem Supraleiter in Form beispielsweise eines

oder mehrerer Ringe, Zylinder, kurzgeschlossener Spulen oder dergleichen gebildet, wobei es von einem Joch oder einem spaltlosen magnetischen Schenkel durchsetzt ist.

Die Primärwicklung 52 und das supraleitende Element 54 können sich auch in einem anderen Teil oder in anderen Teilen des magnetischen Kreises 50, außer einem magnetischen Schenkel mit Spalt, befinden. Um spezieller zu sein, können sich die Primärwicklung 52 und das supraleitende Element 54 wie in Fig. 2 Seite an Seite, also nebeneinander befinden, oder sie können, wie dies in den Fig. 4 und 5 gezeigt ist, entweder an einem bestimmten spaltlosen magnetischen Schenkel oder an einem Joch des magnetischen Kerns 50 ineinander angeordnet sein. Alternativ kann die Primärwicklung 52 oder das supraleitende Element 54 an einem Joch oder einem magnetischen Schenkel ohne Spalt angeordnet sein, während das jeweils andere Element auf einem anderen Joch oder einem anderen magnetischen Schenkel ohne Spalt ruht. Es wird jedoch vorgezogen, daß die Primärwicklung 52 und das supraleitende Element 54 zusammen, also ineinander, angeordnet sind, wie in den Fig. 4 und 5 gezeigt. Wenn die Primärwicklung 52 und das supraleitende Element 54 getrennt an dem magnetischen Kern 50 angeordnet sind, können Streuflüsse auftreten, die nicht durch das supraleitende Element 54 ausgelöscht werden können, wodurch sich der Magnetflussauslöschungseffekt des supraleitenden Elements 54 verschlechtern kann.

Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Dämpfelement 56 aus einem supraleitenden Material gebildet und liegt in Form eines oder mehrerer Ringe, Zylinder, kurzgeschlossener Spulen oder dergleichen vor; es wird von einem magnetischen Schenkel mit Spalt, zum Beispiel dem zweiten magnetischen Schenkel 58B, durchsetzt. Bei dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Dämpfelement 56 drei supraleitende Ringe auf, die axial übereinander gestapelt sind und den zweiten magnetischen Schenkel 58B umschließen.

Nachfolgend wird die Wirkungsweise der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10A mit Bezug auf die Fig. 3 und 4 erläutert.

Unter Normalbedingungen, also wenn in die Primärwicklung 52 ein normaler Strom innerhalb eines gewissen vorbestimmten Bereichs, etwa unterhalb des in Fig. 3 gezeigten Punkts P, fließt, bleibt das supraleitende Element 54 im supraleitenden Zustand, da in dem supraleitenden Element 54 aufgrund des normalen Stroms in der Primärwicklung 52 ein Strom induziert wird, der unterhalb eines kritischen Werts liegt. Deswegen wird der von der Primärwicklung 52 erzeugte magnetische Fluß durch den von dem supraleitenden Element 54 erzeugten entsprechenden umgekehrten magnetischen Fluß ausgelöscht, so daß durch den magnetischen Kern 50 kein magnetischer Fluß hindurchgeht. Als Folge ist die an den Anschlüssen A und B gesehene Induktivität sehr klein, was die Impedanz der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10A niedrig macht. Die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10A hat somit einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Funktion des externen Schaltkreises.

Wenn dagegen unter Fehlerbedingungen in die Primärwicklung 52 ein Fehlstrom fließt, der den vorbestimmten Bereich übersteigt und einen magnetischen Fluß erzeugt, der in dem supraleitenden Element 54 einen den kritischen Wert übersteigenden Strom induziert, geht das supraleitende Element 54 in den resistiven Zustand und verliert hierbei seine Magnetflussauslöschungseigenschaft. Die Impedanz der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10A nimmt dann zu, womit der Pegel des durch den externen Schaltkreis fließenden Fehlstroms begrenzt werden kann.

Wenn bei der in Fig. 2 gezeigten herkömmlichen supra-

leitenden Strombegrenzungsanordnung 10 der Fehlstrom nicht unterdrückt wird und statt dessen fortlaufend ansteigt, bis er einen Sättigungspunkt, etwa den in Fig. 3 gezeigten Punkt Q, erreicht, wo der magnetische Kern 130 gesättigt ist, sinkt die Impedanz der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung 10 wieder rapide, so daß ein enorm großer Fehlstrom durch den externen Schaltkreis fließen und diesen beschädigen kann.

Erfindungsgemäß wird dieses Sättigungsproblem jedoch dadurch gelöst, daß die Sättigung des magnetischen Kerns 50 verzögert oder verhindert wird, und zwar durch Ausnutzung der kombinierten Wirkung des Spalts 55 und des Dämpfelements 56 des zweiten magnetischen Schenkels 58B.

Unter Fehlerbedingungen werden zwei parallele magnetische Wege, nämlich ein erster geschlossener Weg 59 über den ersten und den dritten magnetischen Schenkel 58A, 58C, sowie ein zweiter geschlossener Weg 57 über den ersten und den zweiten magnetischen Schenkel 58A, 58B, in dem magnetischen Kern 50 gemäß der magnetischen Flußdichte in dem magnetischen Kern gebildet. Mit anderen Worten existieren drei magnetische Wege in dem magnetischen Kern 50, nämlich ein magnetischer Hauptweg über den ersten magnetischen Schenkel 58A für den in dem magnetischen Kern 50 erzeugten magnetischen Gesamtfluß, ein primärer magnetischer Weg über den dritten magnetischen Schenkel 58C für einen überwiegenden Teil des magnetischen Gesamtflusses und ein sekundärer magnetischer Weg über den zweiten magnetischen Schenkel 58B für den Rest des magnetischen Gesamtflusses.

Speziell gilt folgendes: Bis der dritte magnetische Schenkel 58C gesättigt ist, ist die Permeanz des dritten magnetischen Schenkels 58C des magnetischen Kerns 50 größer als die des zweiten magnetischen Schenkels 58B mit dem Spalt 55 und dem Dämpfelement 56, da die Permeanz des zweiten magnetischen Schenkels 58B aufgrund des Spalts 55 sehr klein und annähernd konstant ist. Daher verläuft der von der Primärwicklung 52 erzeugte magnetische Fluß vorrangig längs des ersten geschlossenen Wegs 59. Wenn der magnetische Fluß stark wird und somit der durch die magnetischen Schenkel 58A und 58C gehende magnetische Fluß dem Sättigungspunkt nahe kommt, nimmt die Permeanz des dritten magnetischen Schenkels 58C ab, während der zweite magnetische Schenkel 58B seine annähernd konstante Permeanz beibehält. Daher beginnt der magnetische Fluß, längs des zweiten geschlossenen Wegs 57 zu verlaufen. Die Bedingungen für die Magnetflußverteilung unter den magnetischen Schenkeln können durch die Eigenschaften des magnetischen Kerns 50, zum Beispiel die Spaltweite des Spalts 55, gesteuert werden.

Wenn im einzelnen ein relativ niedriger Fehlstrom in die Primärwicklung 52 fließt und die Permeanz des dritten magnetischen Schenkels 58C immer noch größer als die des zweiten magnetischen Schenkels 58B mit dem Spalt 55 ist, verläuft der von der Primärwicklung 52 erzeugte magnetische Fluß vorrangig durch den dritten magnetischen Schenkel 58C, also längs des ersten geschlossenen Wegs 59, wogegen der Anteil des durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B, also den zweiten geschlossenen Weg 57, verlaufenden magnetischen Flusses vernachlässigbar ist.

Wenn aber der Fehlstrom zunimmt und sich der durch den dritten magnetischen Schenkel 58C gehende magnetische Fluß dem Sättigungspunkt nähert, nimmt die Permeanz des dritten magnetischen Schenkels 58C ab, wobei der Anteil des durch den dritten magnetischen Schenkels 58C fließenden magnetischen Flusses allmählich kleiner wird. Andererseits bleibt die Permeanz des zweiten magnetischen Schenkels 58B konstant, wie dies zuvor erläutert wurde; folglich

nimmt der Anteil des durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B fließenden magnetischen Flusses allmählich zu. Da jedoch der Anteil des durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B fließenden magnetischen Flusses immer noch klein ist im Vergleich zu dem des dritten magnetischen Schenkels 58C, behält das Dämpfelement 56 weiterhin seine Magnetflußauslöschungseigenschaft. Daher wird der durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B verlaufende magnetische Fluß durch einen von dem Dämpfelement 56 erzeugten umgekehrten magnetischen Fluß ausgelöscht. Dementsprechend gibt es keinen magnetischen Fluß, der durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B hindurchgeht; der den Magnetkern 50 durchsetzende magnetische Fluß erreicht aufgrund der Auslöschung des längs des zweiten magnetischen Schenkels 58B verlaufenden magnetischen Flusses nicht ohne weiteres seinen Sättigungspunkt. Im Ergebnis treten die Sättigungsprobleme des Magnetkerns 50 nicht auf, so daß eine abrupte Zunahme des Fehlstroms vermieden werden kann.

Bei dieser Ausführungsform ist die Menge des durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B gehenden magnetischen Flusses proportional zum Verhältnis der Reluktanz des dritten magnetischen Schenkels zur Reluktanz des zweiten magnetischen Schenkels. Dies bedeutet, daß bei abnehmender Permeanz des dritten magnetischen Schenkels 58C der durch den zweiten magnetischen Schenkel 58B gehende magnetische Fluß stärker wird, was jedoch durch das Dämpfelement 56 rückgängig gemacht wird, da das Dämpfelement 56 die im Zusammenhang mit Fig. 1 erläuterte Magnetflußauslöschungseigenschaft besitzt.

Wie vorstehend beschrieben, kann erfindungsgemäß die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10A Fehlströme ohne externe Steuereinheit erkennen und begrenzen, da ein Teil des durch den Fehlstrom erzeugten magnetischen Flusses durch das Dämpfelement 56 ausgelöscht wird und hierdurch verhindert wird, daß der magnetische Kern 50 in den Sättigungszustand geht.

In Fig. 5 ist eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10B nach einem zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel gezeigt, wobei diese supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10B einen Magnetkern 60 mit einem Spalt 65 und einem Dämpfelement 66 umfaßt. Der zweite und der dritte magnetische Schenkel des Magnetkerns 60 sind bei diesem Ausführungsbeispiel miteinander vertauscht; das Dämpfelement 66 liegt in Form eines supraleitenden Zylinders statt supraleitender Ringe, wie sie in Fig. 4 gezeigt sind, vor.

Mit Ausnahme der Lage des zweiten und des dritten magnetischen Schenkels und der Form des Dämpfelements ist die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10B gemäß diesem Ausführungsbeispiel funktional identisch zu der in Fig. 4 gezeigten Anordnung 10A, weswegen auf die Erläuterung ihres Aufbaus und ihrer Wirkungsweise verzichtet wird.

In Fig. 6 ist eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10C nach einem dritten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel gezeigt, wobei diese supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10C einen Magnetkern 61 mit ersten bis dritten magnetischen Schenkeln 62A bis 62C und einem Dämpfelement 63 umfaßt. Der ganze zweite magnetische Schenkel 62B des Magnetkerns 61 ist bei diesem Ausführungsbeispiel aus einem Material gefertigt, dessen Permeanz kleiner als die des dritten magnetischen Schenkels 62C ist, dies im Gegensatz zu dem zweiten magnetischen Schenkel 58B in Fig. 4, von dem ein Teil ein mit einem Material niedriger Permeanz gefüllter Spalt ist.

Da die supraleitende Strombegrenzungsanordnung 10C gemäß diesem Ausführungsbeispiel funktional identisch zu

der in Fig. 4 gezeigten Anordnung 10A ist, wird auf die Erläuterung ihres Aufbaus und ihrer Funktionsweise verzichtet.

Obwohl bevorzugte Ausführungsbeispiele im Hinblick auf Magnetkerne mit jeweils drei magnetischen Schenkeln beschrieben wurden, kann die Zahl der magnetischen Schenkel selbstverständlich verändert werden. Beispielsweise kann der magnetische Kern einen oder mehrere magnetische Schenkel umfassen, die jeweils einen Spalt und ein Dämpfelement aufweisen, um so das Verhalten in bezug auf die Aufteilung des magnetischen Flusses zu verbessern und hierdurch wirksam zu verhindern, daß der Magnetkern in Sättigung geht. In ähnlicher Weise kann die Zahl der magnetischen Schenkel ohne Spalt und ohne Dämpfelement größer als zwei gewählt werden.

Wie vorstehend beschrieben, kann erfindungsgemäß die supraleitende Strombegrenzungsanordnung eine abrupte Abnahme der Induktivität der Primärwicklung unter Fehlerbedingungen verhindern, da die Sättigung des magnetischen Kerns wirksam verhindert wird. Als Folge wird ein verbessertes Strombegrenzungsverhalten erzielt.

Da außerdem die supraleitende Strombegrenzungsanordnung das Sättigungsproblem ohne hinzukommende Vergrößerung der Querschnittsfläche des Magnetkerns vermeidet, können die Herstellungskosten der supraleitenden Strombegrenzungsanordnung stark reduziert werden.

Die mittels eines Spalts und eines Dämpfelements bei der Erfindung erzielte Strombegrenzungseigenschaft kann in einem herkömmlichen Induktor (oder Regulator) zur Regulierung von Stromfluktuationen in einem elektrischen Schaltkreis genutzt werden.

In Fig. 7 ist ein Induktor 75 gezeigt, der mit einer externen Schaltung 70 verbunden ist. Der Induktor 75 umfaßt einen Magnetkern 76 mit drei magnetischen Schenkeln 78A, 78B und 78C, wobei eine Primärwicklung 72 am ersten magnetischen Schenkel 78A angeordnet ist und ein Dämpfelement 74 in Form beispielsweise eines supraleitenden Rings den zweiten magnetischen Schenkel 78B, der einen Spalt besitzt, umschließt. Der Magnetkern 76 kann mehr als drei magnetische Schenkel umfassen, sollte jedoch mindestens einen magnetischen Schenkel mit Spalt und mehr als einen magnetischen Schenkel ohne Spalt umfassen.

Bei dieser Struktur des Induktors 75 kann die Primärwicklung 72 in beliebigen Teilen des Magnetkerns 76 angeordnet sein, mit Ausnahme des magnetischen Schenkels mit Spalt.

Wenn ein Fehlstrom in den Induktor 76 eingekoppelt wird, der bewirkt, daß sich der Magnetkern 76 seinem Sättigungszustand nähert, beginnt ein Teil des Magnetflusses, der durch den durch die Primärwicklung 72 fließenden Fehlstrom erzeugt wird, durch den zweiten magnetischen Schenkel 78B zu gehen, wobei er durch den von dem Dämpfelement 74 erzeugten magnetischen Fluß ausgelöscht wird. Als Folge kann, wie bereits bei den vorherigen Ausführungsbeispielen beschrieben, die Sättigung des Magnetkerns 76 in dem Induktor 75 vermieden und der Fehlstrom begrenzt werden.

Die Strombegrenzungseigenschaft kann auch bei einem Transformator erhalten werden, der einen magnetischen Schenkel mit Spalt und Dämpfelement verwendet. In Fig. 8 ist ein Transformator 85 gezeigt, der an eine Quellschaltung 80 und an eine Lastschaltung 81 angeschlossen ist. Der Transformator 85 umfaßt einen Magnetkern 88 mit einer Mehrzahl von beispielsweise drei magnetischen Schenkeln 83A, 83B und 83C, wobei diese magnetischen Schenkel mindestens einen magnetischen Schenkel mit Spalt und zwei oder mehr magnetische Schenkel ohne Spalt umfassen. Eine Primärwicklung 82 ist an dem spaltlosen ersten magne-

tischen Schenkel 83A angeordnet und mit der Quellschaltung 80 verbunden. Eine Sekundärwicklung 86 ist beispielsweise an dem spaltlosen dritten magnetischen Schenkel 83C angeordnet und mit der Lastschaltung 81 verbunden. Die Primär- und Sekundärwicklungen 82 und 86 können aus einem supraleitenden oder einem nicht supraleitenden Material gefertigt sein. Die Primärwicklung 82 dient dazu, eine Eingangsenergie von der Quellschaltung 80 in den Transformator 85 einzuspeisen; die Sekundärwicklung 86 dient dazu, die Lastschaltung 81 mit einer durch den magnetischen Fluß, der von der Primärwicklung 82 erzeugt wird und durch den dritten magnetischen Schenkel 83C hindurchgeht, induzierten elektrischen Ausgangsenergie zu versorgen. Ein Dämpfelement 84 ist in Form eines supraleitenden Rings vorgesehen und umschließt den zweiten magnetischen Schenkel 83B mit Spalt.

Bei dieser Struktur des Transformators 85 können die Primärwicklung 82 und die Sekundärwicklung 86 an beliebigen Teilen des Magnetkerns 88, ausgenommen den magnetischen Schenkel mit Spalt, angeordnet sein.

Wenn ein Fehlstrom in die Primärwicklung 82 oder die Sekundärwicklung 86 eingekoppelt wird und hierdurch den magnetischen Kern dessen Sättigungszustand nahekommen läßt, beginnt ein Teil des von dem Fehlstrom erzeugten und durch die magnetischen Schenkel 83A und 83C gehenden magnetischen Flusses, durch den zweiten magnetischen Schenkel 83B hindurchzugehen, wobei er durch das Dämpfelement 84 ausgelöscht wird. Als Folge kann, wie bei den vorherigen Ausführungsbeispielen beschrieben, die Sättigung des Magnetkerns 88 vermieden werden. So kann eine Zunahme des Fehlstroms unterdrückt werden. Durch die Verwendung des Magnetkerns mit Spalt und Dämpfelement kann demnach eine abrupte Zunahme des in den Transformator fließenden Fehlstroms wirksam verhindert werden, so daß der Transformator frei von Schäden bleibt, die durch anomale Fehlstrome hervorgerufen werden könnten.

Bei den soweit beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung sind die Dämpfelemente vorzugsweise aus einem supraleitenden Material gefertigt, um die Magnetflüssauslöschungseigenschaft zu maximieren. Die Dämpfelemente können aber auch aus einem normalen, nicht supraleitenden Material gefertigt sein, zum Beispiel Cu oder Al. In einem solchen Fall wird jedoch der Magnetflüssauslöschungseffekt wegen des relativ großen elektrischen Eigenwiderstands vergleichsweise stark reduziert sein. Die Dämpfelemente können jede beliebige Form annehmen, beispielsweise ein oder mehrere Zylinder, Ringe, kurzgeschlossene Spulen oder dergleichen, solange sie einen oder mehrere geschlossene Wege für den durch den äußeren magnetischen Fluß induzierten Strom bereitstellen können. Die Spaltweite kann ein entscheidender Entwurfsparameter für die Steuerung des Magnetflüssverhaltens zwischen den magnetischen Schenkeln sein, das wiederum maßgebend für das Strombegrenzungsverhalten ist.

Die magnetischen Schenkel 78B und 83B des Induktors 75 bzw. des Transformators 85 (die in den Fig. 7 und 8 gezeigt sind) können insgesamt auch aus einem Material niedriger Permeanz gefertigt sein, wie dies in Fig. 6 gezeigt ist.

Zudem sollten die aus supraleitendem Material gebildeten Komponenten unterhalb der kritischen Temperatur des supraleitenden Materials gehalten werden, aus dem sie zusammengesetzt sind, um ihren supraleitenden Zustand beizubehalten, dies beispielsweise mit Hilfe eines mit einem Kühlmittel beschickten Kryostaten.

Im Rahmen der Erfindung können alle bekannten Hochtemperatur- oder Niedertemperatur-Supraleitungsmaterialien verwendet werden. Bevorzugt wird jedoch als supraleitendes Material ein Hochtemperatur-Supraleitungsmaterial

mit einer kritischen Temperatur verwendet, die die Verwendung eines Kühlmittels wie etwa Flüssigstickstoff erlaubt.

Zusammenfassend schützt eine supraleitende Strombegrenzungsanordnung eine elektrische Schaltung vor Fehlströmen. Die Anordnung umfaßt einen magnetisch sättigbaren Kern mit einem gesättigten und einem ungesättigten Zustand sowie eine Eingangsspule, um den Kern elektrisch mit der elektrischen Schaltung zu koppeln, wobei die Eingangsspule einen Strom zieht, so daß bedingt durch diesen Strom ein magnetischer Fluß in dem Kern erzeugt wird. Der Kern umfaßt einen Hauptweg, der den erzeugten magnetischen Fluß insgesamt führt, sowie mindestens zwei magnetische Wege, von denen ein erster einen ersten Teil des magnetischen Flusses führt und ein zweiter einen zweiten Teil des magnetischen Flusses führt und ein Dämpfelement aufweist, um den zweiten Teil des magnetischen Flusses mindestens teilweise auszulöschen und auf diese Weise zu verhindern, daß der Kern in den gesättigten Zustand geht.

#### Patentansprüche

1. Anordnung zur Begrenzung eines Stroms in einer elektrischen Schaltung, umfassend:

– einen magnetisch sättigbaren Kern (50) mit einem gesättigten und einem ungesättigten Zustand und

– eine Eingangsspule (52) zum elektrischen Ankoppeln des Kerns (50) an die elektrische Schaltung, wobei die Eingangsspule (52) einen Strom führt, so daß ein magnetischer Fluß in dem Kern (50) erzeugt wird,

wobei der Kern (50) einen Hauptweg (58A) zum Führen des erzeugten magnetischen Flusses und mindestens zwei magnetische Wege (58B, 58C) umfaßt, von denen ein erster (58C) einen ersten Teil des magnetischen Flusses führt und ein zweiter (58B) einen zweiten Teil des magnetischen Flusses führt und ein Dämpfelement (56) zur wenigstens teilweisen Auslöschung des zweiten Teils des magnetischen Flusses aufweist, um zu verhindern, daß der Kern (50) in den gesättigten Zustand geht.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite magnetische Weg (58B) Flußbeeinflussungsmittel (55) enthält, um zu bewirken, daß der zweite Teil des magnetischen Flusses gegenüber dem ersten Teil vernachlässigbar ist, wenn sich der Kern (50) in dem ungesättigten Zustand befindet, und der zweite Teil des magnetischen Flusses groß wird, wenn sich der Kern (50) seinem gesättigten Zustand nähert.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Flußbeeinflussungsmittel (55) einen Spalt umfassen.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Spalt (55) ein Luftspalt ist.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Flußbeeinflussungsmittel ein Material umfassen, dessen Permeanz kleiner als die des ersten magnetischen Wegs (58C) ist.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Dämpfelement (56) aus einem supraleitenden oder einem nicht supraleitenden Material gefertigt ist und in Form eines oder mehrerer Ringe, Zylinder oder kurzgeschlossener Spulen vorliegt.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß sie supraleitende Mittel (54) umfaßt, um zu bewirken, daß ein Hauptteil des erzeugten magnetischen Flusses ausgelöscht wird, wenn

der durch die Eingangsspule (52) fließende Strom innerhalb eines vorbestimmten Bereichs liegt, wobei die supraleitenden Mittel (54) in einen resistiven Zustand gehen, wenn der Strom den vorbestimmten Bereich übersteigt, was zu einer nachfolgenden Zunahme der Impedanz der Anordnung führt.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die supraleitenden Mittel (54) an dem Hauptweg (58A) oder dem ersten magnetischen Weg (58C) angeordnet sind.

9. Anordnung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die supraleitenden Mittel (54) in Form eines oder mehrerer Ringe, Zylinder oder kurzgeschlossener Spulen vorliegen.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die supraleitenden Mittel (54) innerhalb oder außerhalb der Eingangsspule (52) längs des Hauptwegs (58A) oder des ersten magnetischen Wegs (58C) angeordnet sind.

11. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Ausgangsspule (86) umfaßt, welche längs des Hauptwegs (83A) oder des ersten magnetischen Wegs (83C) angeordnet ist und mit einer Lastschaltung (81) gekoppelt ist, um die Lastschaltung (81) mit elektrischer Energie zu beliefern, die durch den magnetischen Fluß induziert wird, der durch denjenigen Weg (83C) geht, längs dessen die Ausgangsspule (86) angeordnet ist.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspule (86) aus einem supraleitenden oder einem nicht supraleitenden Material gefertigt ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

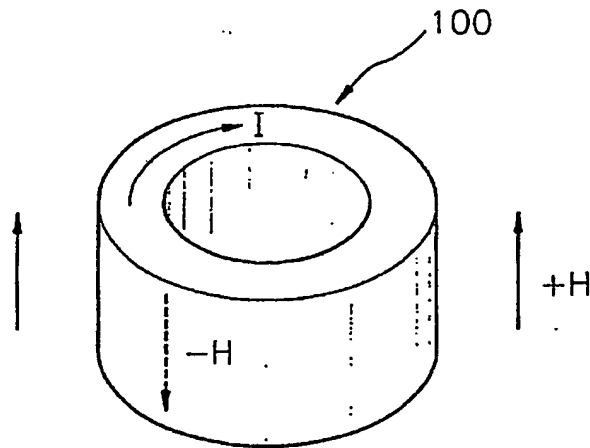


FIG. 2

(Stand der Technik)

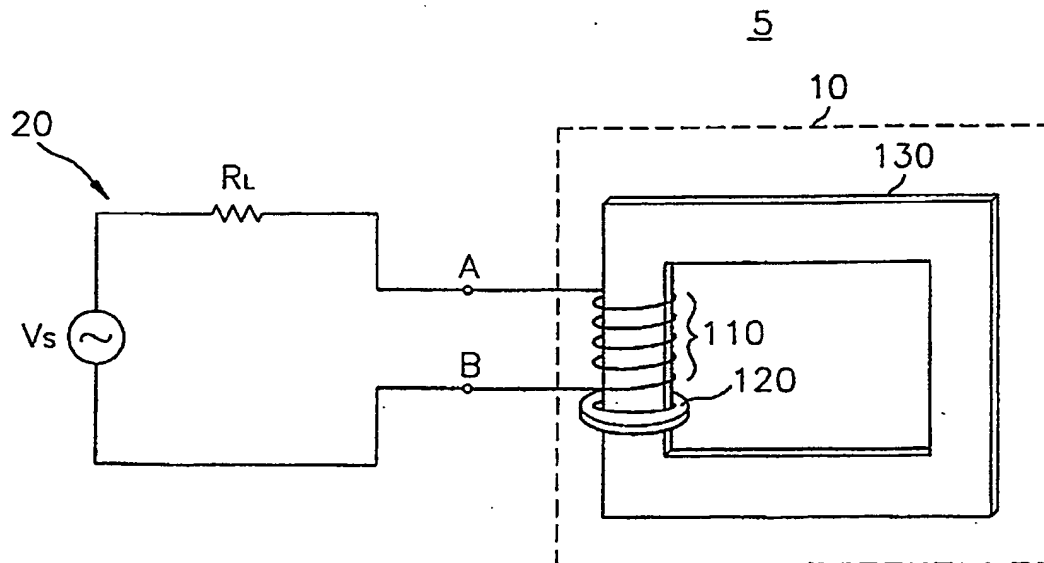




FIG. 3

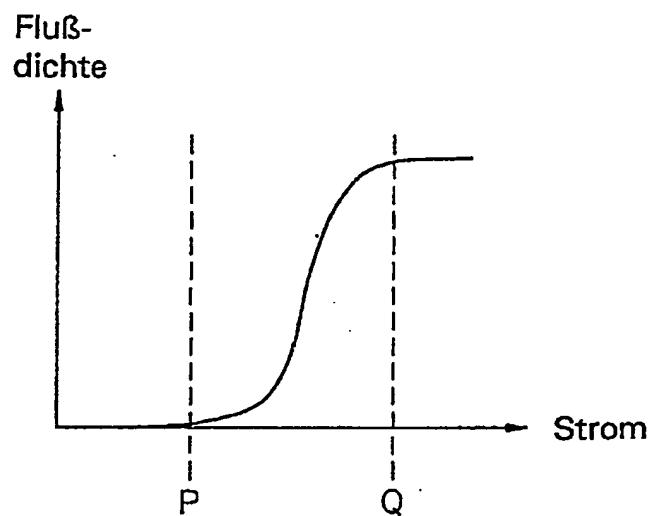


FIG. 4

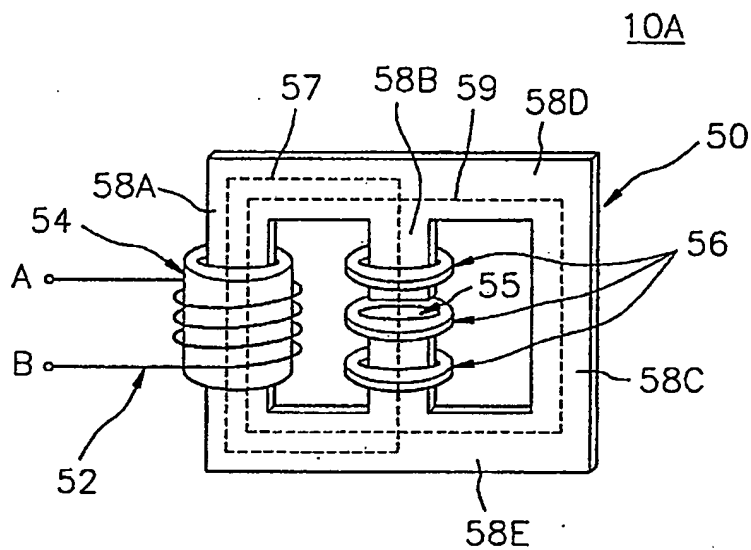


FIG. 5

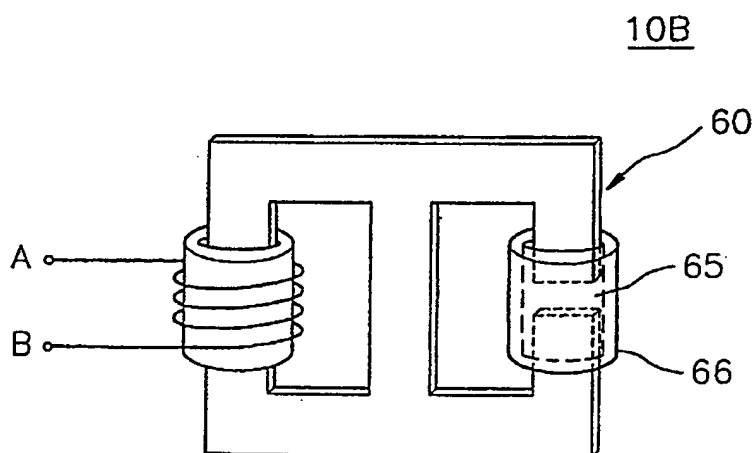


FIG. 6

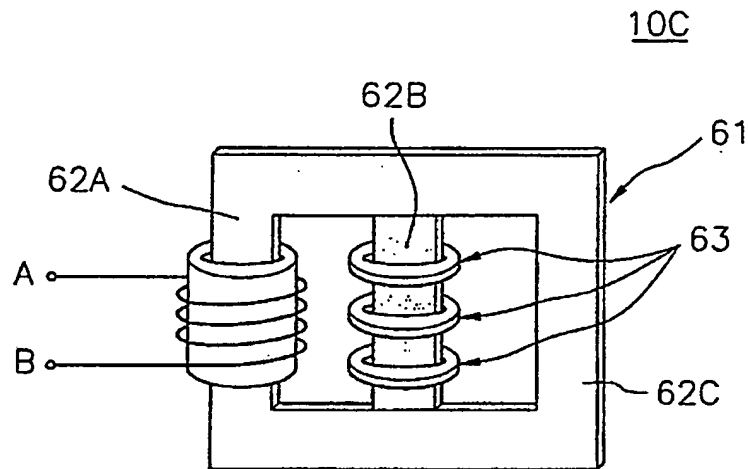


FIG. 7

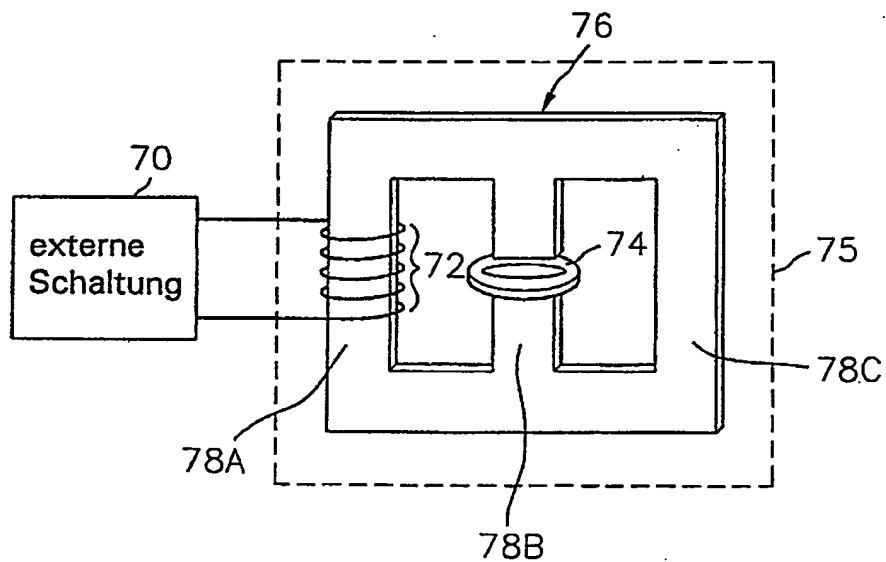
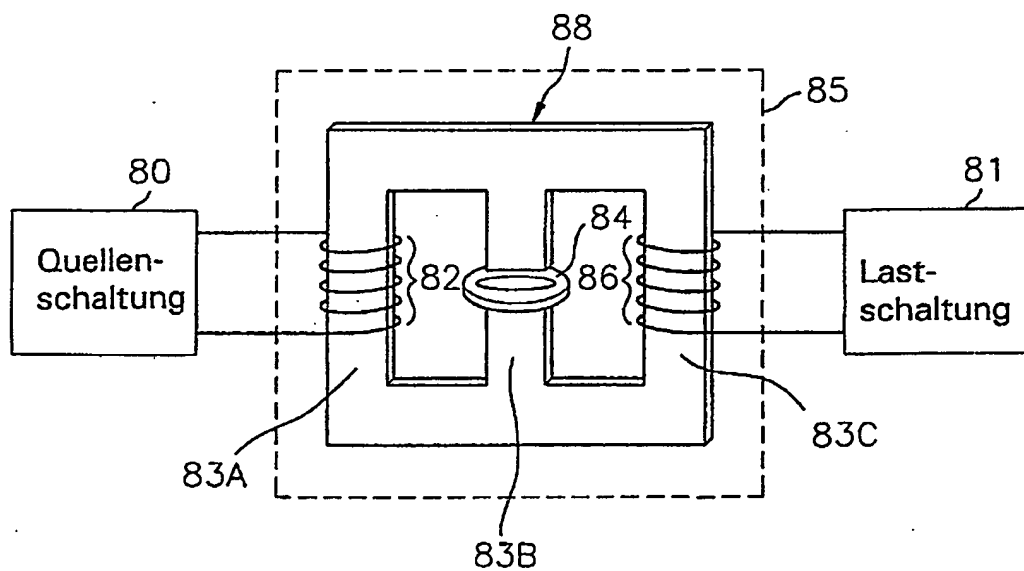


FIG. 8



## Superconductive current limiting device for fault current protection

Patent Number: DE19851047

Publication date: 1999-06-10

Inventor(s): JOO YONG-SEOK (KR); JOO BACK (KR); JOO MIN-SEOK (KR)

Applicant(s): JOO YONG SEOK (KR); JOO BACK (KR); JOO MIN SEOK (KR)

Requested Patent: ☐ DE19851047

Application Number: DE19981051047 19981105

Priority Number(s): DE19981051047 19981105; DE19971051069 19971118

IPC Classification: H01F27/24; H01F27/38; H01F36/00; H02H9/02

EC Classification: H01F38/02B, H01F6/00D

Equivalents:

### Abstract

The superconductive current limiting device has a magnetic core (50) with saturated and unsaturated states, coupled to an electrical circuit via an input coil (52), generating a flux in the magnetic core, directed around 2 flux paths (58B,58C) one of which has a damping element (56) for blocking the saturated state of the core.

Data supplied from the esp@cenet database - I2